

## Chapitre III : Identification des étages bioclimatiques

### Définitions

En raison de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques et de la nécessité de description synthétique, de classement et de comparaison des types de climat et de végétation à travers le monde, de nombreux auteurs ont proposé diverses formules, indices et expressions graphiques, tenant compte d'un nombre plus ou moins élevé de facteurs. En 1943, Emberger écrivait « ... il n'est pas douteux que climat et végétation sont solidaires comme force et matière, mais il est clair qu'avant d'affirmer que telle ou telle espèce ou groupement permet de délimiter une aire aussi naturelle que les territoires climatiques, il faut **d'abord connaître le climat**, puis fixer les limites sur le terrain, et **alors seulement chercher les espèces**, qui à l'intérieur de l'aire délimitée, suivent le plus étroitement la frontière climatique...». Pour ces différents auteurs, la principale difficulté était de définir à partir de quand un climat, une saison, sont-ils secs ? On peut légitimement admettre qu'une période est sèche quand celle-ci dépense plus d'eau qu'elle n'en reçoit, donc qu'elle perd par évaporation et transpiration une quantité d'eau supérieure à celle des précipitations qui tombent pendant le même laps de temps. Les éléments les plus couramment analysés sont les précipitations, les températures et l'évaporation pour établir le bilan de l'eau. On peut distinguer deux grands types d'indices selon leur finalité : les indices climatiques globaux et les indices climatiques de production

Les indices climatiques globaux fournissent des variables synthétiques qui combinent généralement des données climatiques moyennes calculées à partir de séries climatologiques correspondant à un poste d'observation. Ces indices sont valables globalement pour la zone de représentativité du poste considéré. Ils ont été tout d'abord utilisés pour classer et cartographier les climats selon leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues (Köppen, Lang, De Martonne, Rubner, Gaussen et Bagnouls, Walter et Lieth, Moral...) puis par les botanistes et écologues (Emberger, Thornthwaite...). A l'échelle macroclimatique, ces indices permettent d'expliquer la répartition biologique des essences, de définir les limites d'aire biotique coïncidant avec celle d'un facteur climatique précis... Cependant, ce sont avant tout des formules mathématiques qui ignorent les exigences écologiques des plantes, les possibilités écologiques d'un territoire (caractéristiques du sol, topographie...) et la hiérarchie écologique des facteurs déterminant la répartition d'une essence dans un milieu géographique. Beaucoup de ces formules sont empiriques et n'ont aucune signification physique. Elles n'ont

de signification que par la bonne corrélation existante avec la distribution de certains groupements végétaux ; 37

Les indices climatiques de production sont destinés à permettre une estimation de la production d'un type de culture pour une période et dans une zone donnée. Dans ces indices, il existe un modèle climatique sous-jacent nécessitant l'introduction des principaux facteurs qui affectent la croissance des plantes (T, P, durée du jour, rayonnement global, évapotranspiration...).

Un indice climatique est une donc combinaison d'au moins deux valeurs numériques sur l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu, en vue de la classification à l'échelle planétaire ou pour des applications spécifiques. Ces indices caractérisent le complexe chaleur-eau, c'est-à-dire, en fait, le facteur sécheresse ou l'aridité. Ils expriment la résultante utile des climats. En désignant par P le pouvoir humidifiant d'un climat et par E son pouvoir desséchant ou évaporant, on peut envisager soit le rapport P/E, soit la différence P-E, soit enfin le rapport :  $(P-E) / E$  (Curé 1945). En climatologie, on a surtout utilisé les formules se rattachant au premier groupe.

### **1. Une représentation graphique simple : les climatogrammes**

On entend par régime pluviométrique, en un lieu donné, la répartition de la moyenne du cumul annuel des précipitations entre les différents mois de l'année (Choisnel et Jacq 1998). Il est généralement représenté par un diagramme indiquant, pour chaque mois, de janvier à décembre, les hauteurs de précipitations moyennes (ou médianes) mensuelles. La notion de régime pluviométrique ne se réfère donc qu'aux caractères du climat moyen, et ne rend pas compte de la variabilité d'une année à l'autre de la pluviométrie en un lieu donné et pour un mois donné. Les climogrammes (climatogrammes = phytoclimogrammes) sont des simples graphiques établis, dans la plupart des cas, à partir des moyennes mensuelles de température (axe des X) et de pluviométrie (axe des Y). Ces représentations ont l'avantage de rendre plus frappantes les variations des phénomènes que l'on étudie, de faciliter les comparaisons et de faire apparaître les contrastes. Par leur forme, ils permettent de caractériser facilement des climats à saisonnalités thermique, pluviométrique, pluviothermique, voire sans saison. Les climatogrammes permettent également de définir les formations végétales et les espèces par les bioclimats et les situer dans des classes d'amplitude.

## 2. Les indices climatiques fondés sur les données de précipitations (P) et/ou de températures (T)

### 2.1. L'indice de continentalité pluviométrique d'Angot (1906)

Cet indice ne fait intervenir que les précipitations mensuelles et caractérise le degré de continentalité pluviale des sites

$$\text{Formule : } I_A = \frac{\sum P(6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum P(6 \text{ mois les plus froids})}$$

### 2.2. L'indice de continentalité thermique de Gorczinski (1920) (modifié Daget 1968)

Il caractérise la continentalité thermique des sites par la concentration estivale des températures. On peut l'utiliser avec le coefficient d'Angot pour avoir une idée des variations pluviothermiques selon le degré de continentalité.

$$\text{Formule : } K' = \frac{1,74}{\sin(\gamma + 10 + 9h)} - 14$$

**Avec :**

A = amplitude thermique annuelle moyenne en °C

$\gamma$  = latitude en °

h = altitude en kilomètres

Un climat est continental ou semi-continental quand IA est supérieur à 1 et K' supérieur à 25.

En climat tempéré axérique (Europe du Nord par exemple), les deux continentalités sont associées et la continentalité thermique est particulièrement déterminante au niveau biologique, les fortes amplitudes thermiques annuelles étant conditionnées avant tout par la rigueur hivernale. En climat méditerranéen, la continentalité pluviale est toujours inférieure à 1 en raison de la forte sécheresse estivale. Par contre, au niveau thermique, ce climat étant par nature contrasté, les amplitudes annuelles sont importantes mais, comme elles dépendent avant tout de l'importance des températures estivales, elles sont peu déterminantes pour la végétation en tant que facteur thermique. En revanche, elles jouent un rôle important dans l'accentuation de l'aridité comme a pu le montrer Emberger avec son quotient pluviothermique

### 2.3. Facteurs de pluie de Lang (1915-1920)

C'est le premier indice combinant les précipitations (en mm) et les températures moyennes mensuelles ou annuelles (en °C). Il s'écrit simplement :

$$\text{Formule : } I_L = \frac{P}{T}$$

Les valeurs inférieures à 1 correspondent aux déserts, celles entre 1 et 2 aux steppes et celles supérieures à 2 aux régions arborescentes. Le quotient de végétation de Cieslar (1937) considère des intervalles de deux mois pendant la période végétative. Pour son facteur réduit de pluie, Albert (1928) ne considère que l'intervalle de temps où la température est supérieure à 0°C, son facteur de pluie réduit n'est qu'une modalité du facteur de Lang.

### 2.4. Le coefficient pluviométrique relatif d'Angot (q)

Pour mettre en évidence les régimes pluviométriques, la méthode la plus simple consiste à dresser des graphiques où sont reportées les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations. Mais, d'une station à l'autre, les différences considérables dans le total annuel rendent les comparaisons difficiles et l'inégalité de la durée des mois fausse un peu les résultats. Le coefficient pluviométrique permet de pallier à ces deux inconvénients en exprimant le caractère plus ou moins pluvieux du mois considéré dans l'ensemble de l'année. Pour chaque mois, la valeur moyenne observée est rapportée à ce que serait la hauteur mensuelle d'eau si les pluies étaient distribuées de façon rigoureusement égale pour chaque jour de l'année.

P = total annuel.....

p = total mensuel d'un mois de 30 jours ..... Valeur de référence d'un mois de 30 jours p=

$P \times 30 / 365$

La valeur du coefficient q pour le mois est :  $q = p/p$

Selon le mois, cette valeur sera inférieure ou supérieure à 1, mais la somme des 12 coefficients doit être égale à 12. La notion de régime pluviométrique repose sur les moyennes et ne peut donc pas s'appliquer dans les régions où la variabilité des précipitations devient très grande (zones arides pour lesquelles des années sans pluie peuvent se succéder). Dans des zones plus tempérées, ce coefficient permet d'opposer des climats à saisons bien tranchées et des climats où les précipitations se font tout au long de l'année avec de simples nuances

saisonniers (exemples ci-dessous). Dans la pratique, le calcul de ce coefficient s'effectue à l'aide de formules appropriées. Si les mois étaient tous égaux, on aurait  $q = 12p/P$  d'où pour les mois de :

**31 jours** ( $31/365 = 0.085$ ) ...  $q = p/0.085P \Rightarrow q = 11.76 p/P$

**30 jours** ( $30/365 = 0.082$ ) ...  $q = p/0.082P \Rightarrow q' = 12.19 p/P$

**28 jours** ( $28/365 = 0.077$ ) ...  $q = p/0.077P \Rightarrow q'' = 12.99 p/P$

L'intérêt majeur de ce coefficient est de rendre comparable entre elles les répartitions saisonnières des pluies dans des postes où celles-ci diffèrent considérablement en valeur absolue. Un mois recevant 60 mm de pluie dans un site où le total annuel dépasse 2000 mm sera considéré comme sec alors qu'il sera qualifié d'humide dans une station avec 400 mm de pluie annuelle. L'inconvénient de cette représentation est que l'on perd l'information sur les conséquences physiques ou physiologiques de la valeur réelle des précipitations

### **9.2.5. Indice d'aridité de De Martonne (1926)**

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne a défini comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient  $IDM = P/(T+10)$  (Coutagne 1943). Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température ; l'évaporation étant considérée comme une fonction linéaire de la température. Il a été ajouté 10 aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice. On notera l'ingéniosité de la méthode, qui, à première vue, un peu déconcertante par les raisons qui ont fait ajouter 10 à la température- (pourquoi pas 7, ou 8 ou 12 ?), a conduit à une expression essentiellement empirique, mais intuitivement très satisfaisante, ayant une valeur hydrographique et climatologique indéniable (Coutagne 1943). De fait de sa simplicité, il a été beaucoup utilisé par les géographes.

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses. De Martonne a proposé six grands types de climats selon les valeurs de l'indice annuel.

$$\text{Formule : } I = \frac{P(mm)}{T(^{\circ}C) + 10}$$

Valeur de IDM	Type de climat	Signification
< 5	Aridité absolue	désert sans culture
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe ; aucune culture sans irrigation
10 à 20	semi-aride	formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité
20 à 30	semi-humide	prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire
30 à 40	humide	les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage
> 40	humide	la forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages

Les climats sont tout d'abord parfaitement ordonnés selon leurs caractères thermiques, en fonction de la latitude croissante, climats méditerranéens, tempérés et froids puis niveau mensuel. Pour un mois donné caractérisé par une précipitation et une température moyennes  $p$  et  $t$ , l'indice d'aridité est donné dans la formule ci-dessous. La pluviométrie est multipliée par 12 de façon à obtenir une valeur de l'indice comparable à celle de l'indice annuel.

$$\text{Formule : } I = \frac{12 p (mm)}{t (^\circ C) + 10}$$

Dans cette fonction, le dénominateur double pour chaque augmentation de  $10^\circ C$ . Il publia des cartes pour le nord-ouest de l'Europe montrant les coefficients pour les mois de janvier et juillet

## 2.7. Indice pluviométrique annuel de Moral (1954)

Cet indice est surtout adapté pour la classification des climats dans la zone intertropicale. Pour Moral, la limite entre l'humidité et la sécheresse est donnée par la hauteur des pluies (en mm).  $I_M$  est inférieur à 1 pour un climat sec et supérieur à l'unité pour un climat humide.

Formule :

$$I_M = \frac{P}{T^2 - 10T + 200} \quad \begin{array}{l} I_M < 1 \dots \text{climat sec} \\ I_M > 1 \dots \text{climat humide} \end{array}$$

## 2.8. Indice d'humidité de Manguet (1954)

Cet indice est surtout adapté pour la classification des climats dans la zone intertropicale. Les facteurs thermiques ne sont pas pris en compte car Manguet estime que dans ces régions la température ne joue pas un rôle direct. L'indice a été établi pour différencier les climats de plaine et des basses montagnes de l'Afrique Occidentale.

Formule et sa signification 
$$I = \frac{\left(\frac{P}{100}\right) + M_s + \left(\frac{H_{MAX}}{5}\right)}{nS + \left(\frac{500}{H_{MIN}}\right)}$$

- a = facteur d'humidité
- P = pluviométrie moyenne annuelle (en mm)
  - Ms = moyenne de la pluviométrie des mois secs (< 50 mm)
  - Hmax = humidité relative (en%) annuelle maximale
- b = facteur d'aridité
- nS = nombre de mois secs
  - Hmin = humidité relative (en%) annuelle minimale

Les valeurs de I diminuent quand les différences entre a et b diminuent c'est-à-dire quand on va vers les climats plus secs. L'auteur considère 5 groupes de climats intertropicaux

Valeurs de l'indice	Signification
$I < 1$	type sahélien (arbres rares, xérophiles spécialisés)
$1 < I < 2$	type soudanien (formation plus dense, savane)
$2 < I < 3$	type à forêt instable (formation plus dense mais instable)
$3 < I < 7,5$	type forêt mésophile (formation dense, arbre de grande taille)
$I > 7,5$	type forêt hygrophile (« rain forest »)

## 2.9. Indices de Gaussen et Bagnouls (1952)

### 2.9.1. Indices et diagrammes ombrothermiques

C'est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés. Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité. Celle-ci est

appréciée à travers un indice de sécheresse  $S$  (= *indice ombrothermique*) calculé en faisant la différence entre les courbes  $P$  et  $T$  pour le ou les mois les plus secs.

Un mois donné est considéré comme **sec** quand  $P < 2T$  c'est-à-dire quand l'évapotranspiration potentielle (ETP) est supérieure aux précipitations. Inversement, quand  $P > 2T$ , le mois est considéré comme **humide**.

$P < 2T$ .....MOIS SEC

$P > 2T$ .....MOIS HUMIDE

Pour repérer les mois "sec" et "humide" et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une localité, on trace généralement les diagrammes ombrothermiques. Ces diagrammes superposent les deux courbes de températures et de précipitations pour les 12 mois de l'année ce qui permet de définir une aire ombrothermique. Plus l'aire est importante et plus la saison est sèche (valeur de l'intégrale). Pour les basses latitudes, Birot préfère qualifier de sec un mois pendant lequel  $P < 4T$ . Moral a, quant à lui , établi non pas deux mais quatre types de mois :

- Mois pluvieux :  $p \geq 0.1t^2 + t + 30$
- Mois humide :  $0.1t^2 + t + 30 > p \geq 0.1t^2 - t + 20$
- Mois sec :  $0.1t^2 - t + 20 > p \geq 0.05t^2 - t + 10$
- Mois aride :  $p < 0.05t^2 - t + 10$

### 2.9.2. Quotient pluviothermique d'Emberger (1932)

L'indice d'Emberger définit le degré d'humidité du climat. Il prend en compte les précipitations annuelles  $P$ , la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud ( $M$ ) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid ( $m$ ). Comme pour l'indice xérothermique de Gaussen, il est plus particulièrement adapté aux régions méditerranéennes dans lesquelles il permet de distinguer différents étages climatiques. Dans ces régions, Emberger a remarqué que l'amplitude thermique ( $M-m$ ), donc l'évaporation, est un facteur important de la répartition des végétaux. On sait en effet que, à température moyenne égale, l'évaporation est d'autant plus grande que l'amplitude thermique est élevée. Le facteur de pluie pris en compte est le produit du nombre de jours de pluie par an ( $n$ ) par le cumul moyen annuel ( $P$ ).

$$Q_E = \frac{P}{2 \left[ \left( \frac{M+m}{2} \right) (M-m) \right]} \times 100 = \frac{100P}{M^2 - m^2}$$

Un climat méditerranéen est d'autant moins sec que le quotient est grand. Il est également très important de noter que, à quotient équivalent, celui-ci à une valeur écologique différente selon les valeurs des températures qui y interviennent. La valeur m est une différentielle très importante. Elle est un seuil biologique. D'une manière générale, elle exprime assez bien le degré et la durée de la période critique des gelées, car plus m est bas, plus celles-ci sont sévères. Pour en tenir compte, il est indispensable de combiner QE avec m (Abaque de Sauvage). Cet abaque dû à Sauvage permet de placer une station dans l'une des cinq classes de climat méditerranéen qui ont été définies.

Le climat méditerranéen peut être divisé en *trois faciès* selon la valeur de m :

- Faciès froid :  $m < -1$
- Faciès moyen :  $-1 < m < 2$
- Faciès chaud :  $m > 2$

et cinq formes selon la valeur de QE. Pour le faciès moyen, la valeur prise par QE varie de :

- $QE < 12$  ..... Saharien ou désertique .....  $P < 100$  mm/an
- $12 < QE < 30$  ..... Aride .....  $100 < P < 300$  mm/an
- $30 < QE < 60$  ..... Semi-aride .....  $300 < P < 600$  mm/an
- $60 < QE < 100$  ... Sub humide .....  $600 < P < 900$  mm/an
- $QE > 100$  ..... Humide .....  $P > 900$  mm/an